

XVI ERIAC
DECIMOSEXTO ENCUENTRO
REGIONAL IBEROAMERICANO DE CIGRÉ

17 al 21 de mayo de 2015



C1-02

Comité de Estudio C1 - Desarrollo de Sistemas y Economía

ANALIZANDO LA UTILIZACIÓN DE LOS EXCEDENTES DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA DEL PARAGUAY: UN ENFOQUE BASADO EN PROCESOS ANALÍTICOS JERÁRQUICOS (AHP)

R. AMARILLA
Facultad Politécnica
Paraguay

G. BLANCO[1]
Facultad Politécnica
Paraguay

H. OJEDA
Facultad Politécnica
Paraguay

M. GARCÍA
Facultad Politécnica
Paraguay

Resumen *–La formulación de una política energética sostenible para el crecimiento económico puede ser vista como un problema de optimización, el cual tiene por objeto establecer un conjunto de estrategias que maximicen el bienestar de un país determinado sobre la base de un cierto número de criterios. Por lo general, este problema es abordado por medio de los clásicos enfoques mono-criterio de planificación, cuyo objetivo es establecer una política basada en un único o pocos objetivos (por ejemplo la perspectiva técnica o económica). Actualmente, el alcance del análisis ha evolucionado a un problema de optimización multi-criterio, debido a la significativa interacción entre diversos criterios y la necesidad de evaluar alternativas bajo riesgos e incertidumbres. En este sentido, el requisito de satisfacer simultáneamente múltiples criterios -por ejemplo: económica, política, técnica, social y ambiental, es actualmente un reto para los responsables de dictar las políticas de energía, que necesitan para articular planes de acuerdo a múltiples funciones objetivo que incorporan las relaciones de compromiso y conflictos entre los múltiples puntos de vista.*

Bajo este contexto, el presente trabajo presenta un enfoque basado en el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) para la planificación de políticas energéticas basadas en múltiples criterios en condiciones de incertidumbre. El AHP es una técnica estructurada para organizar y analizar decisiones complejas, que ha sido desarrollado por Thomas L. Saaty en los años 70 y ha sido ampliamente analizada y desarrollada desde entonces. Por lo tanto, este método representa una herramienta de toma de decisiones teniendo en cuenta múltiples criterios que, recientemente, se ha utilizado en casi todas las aplicaciones relacionadas con la toma de decisiones. Este enfoque sintetiza la información con el fin de descomponer las alternativas y la información relevante en una estructura de jerarquía de criterios. En el caso particular de Paraguay, debido a su importante excedente de energía hidroeléctrica, el proceso de planificación de la energía es la piedra angular de una política estatal que busca impulsar el desarrollo del país. Además -como en casi todos los países en desarrollo- la política energética tiene un impacto directo sobre todos los sectores de la sociedad, es decir, los sectores económicos, técnicos, sociales, ambientales y políticos. Con estos antecedentes, el presente trabajo propone un nuevo enfoque basado en la metodología AHP para el análisis de las estrategias del Paraguay en la utilización de la energía hidroeléctrica, donde los criterios -económico, técnico, social, ambiental y factibilidad de aplicación- son utilizados para priorizar consistentemente estrategias de utilización de la hidroelectricidad en Paraguay mediante el enfoque AHP.

.

Palabras clave: Proceso Analítico Jerárquico – Planificación de Políticas Energéticas – Múltiples Criterios – Incertidumbre

[1] gblanco@pol.una.py

1 INTRODUCCIÓN

El sector de la energía en el Paraguay se diferencia particularmente de los países en desarrollo típicos, sobre todo en cuanto a la relación existente entre la capacidad de la energía hidroeléctrica y el consumo eléctrico. Esta energía renovable, acompañada de un modelo de desarrollo sostenible, debe ser la piedra angular de la política energética en el Paraguay. Sin embargo, dentro de la matriz energética del país, existe aún hoy en día un claro "desequilibrio", con una participación de la biomasa, fuentes de energía en base a petróleo y una limitada penetración de electricidad. Analizando el Paraguay, desde diferentes perspectivas, podemos decir que necesita con urgencia aprovechar los grandes niveles de energía eléctrica limpia disponibles para impulsar su desarrollo, alentando así la penetración de la energía hidroeléctrica dentro de la matriz de demanda energética.

En este contexto, en el Paraguay se desató desde hace ya varios años, un amplio debate público sobre el uso del excedente de energía hidroeléctrica. Las diferentes alternativas para su implementación a menudo se caracterizan por el conflicto entre diferentes intereses, como ser puntos de vistas políticos, sociales, económicos, técnicos y ambientales. Debido a la complejidad de las negociaciones entre diferentes agentes implicados, una idea única sobre cuál es la mejor alternativa, es difícil de alcanzar. No obstante, la percepción general de la sociedad paraguaya está unificada en el sentido de que los responsables políticos deben tomar decisiones que reditúen los mayores beneficios para el país. Bajo estas circunstancias, se requiere un enfoque basado en modelos de decisión de análisis multi-criterio (MCDA). Los enfoques MCDA son capaces de ofrecer respuestas a los crecientes problemas de planificación energética. Estas evaluaciones permiten una mejor comprensión de las características intrínsecas del problema de toma de decisión, fomentan la participación de los agentes en los procesos de toma de decisiones, permitiendo alcanzar decisiones consensuadas y proporcionando una buena base para comprender la visión de los modelos bajo un escenario realista. Los enfoques multi-criterio sirven así de apoyo a la toma de decisiones para mejorar la calidad de la decisión, por la que les permite ser más explícito, racional y eficiente [1]. Con esta propuesta se plantea utilizar el AHP para desarrollar una herramienta de toma de decisiones con relación al uso de los excedentes hidroeléctricos del Paraguay en el marco de una política sustentable, considerando aspectos cuantitativos y cualitativos difíciles de combinar mediante enfoques tradicionales de evaluación.

En este trabajo -como caso de estudio- se toman cuatro escenarios de políticas energéticas; es decir, 1- un escenario tendencial (*Business as Usual – BAU)*, 2- un escenario de alta exportación de energía hidroeléctrica, 3- un escenario de alto nivel de penetración de la industria electro-intensiva, 4- un escenario de alto desarrollo de las pequeñas industrias. Finalmente, dichos escenarios son evaluados según criterios económicos, técnicos, ambientales, sociales y de factibilidad de implementación. En este contexto, el crecimiento del producto interno bruto (PIB) bajo el criterio económico, la energía no suministrada (ENS) en el análisis técnico, los gases de efecto invernadero (GEI) en el punto de vista ambiental, bajo el criterio social la cantidad de empleos generados y, por último, el riesgo de implementación bajo el criterio de factibilidad son evaluados como indicadores de desempeño en cada caso.

2 ANALYTIC HIERARCHY PROCESS

El método del AHP se desarrolló en los años setenta por Thomas Saaty, buscando el desarrollo de una herramienta sistemática para la evaluación y selección de alternativas [2].

2.1 AHP en tres pasos

Como se menciona en [2], el AHP ayuda a derivar escalas relativas utilizando los juicios de una escala estándar, realizando la operación aritmética posterior en tales escalas. Por lo tanto, los juicios se dan en forma de comparaciones por pares. Asumamos que existen n criterios, cuyos pesos w_1, w_2,..., w_n, respectivamente, son conocidos. A continuación, una matriz de relación de a pares se conforma, cuyas filas dan las relaciones de los pesos de cada criterio con respecto a todos los demás. Entonces, tenemos la siguiente ecuación matricial.

$$\begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \cdots & w_1/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \cdots & w_n/w_n \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = n \cdot \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = n \cdot w \qquad (1)$$

Si definimos como *A*, a la matriz de relación de pares normalizada de la ecuación anterior, entonces *n* es un valor propio de *A*, y a continuación, *W* es el vector propio (no se trata de una norma euclídea) asociado con él. Por lo tanto, para hacer *W* único, normalizamos sus entradas dividiendo por su suma. *A* es consistente debido a que la siguiente condición se cumple:

$$a_{jk} = a_{ik}/a_{ij}, i, j, k = 1, \dots, n \qquad (2)$$

Por lo tanto, para el primer paso es necesario establecer criterios a ser considerados y las alternativas disponibles para ser evaluadas. Esta organización puede tener tantos niveles como sea necesario, con el nivel superior como el principal objetivo a alcanzar, en el nivel intermedio los criterios considerados y en el último nivel, las alternativas analizadas [3]. El segundo paso es la obtención de los juicios de comparación por pares. Los elementos en el segundo nivel están dispuestos en una matriz y los juicios de los agentes son ponderados en relación con el objetivo principal. El AHP, utiliza una escala con valores de 1 al 9, tal como se da en [2], siendo: 1-Igualdad de importancia, 3-Moderada importancia de uno sobre otro, 5-Fuerte importancia, 7-Muy fuerte importancia, 9-Importancia extrema. La matriz de comparaciones por pares de los criterios dados por los tomadores de decisiones se muestra en (1), junto con el vector resultante de prioridades. El vector de prioridades se estima por el autovector principal de la matriz y se le da la prioridad relativa a los criterios medidos en una escala de razón. A continuación, se procede a comparar por pares los elementos en el nivel más bajo. Por lo tanto, las alternativas son comparadas por pares con respecto a cuan mejor es uno que el otro en el cumplimiento de cada criterio en el nivel superior. El tercer paso es establecer las prioridades globales de las alternativas. En este punto, observamos las prioridades de cada alternativa con respecto a cada criterio en una matriz [4]. Entonces, se multiplica cada columna de vectores por la prioridad del criterio correspondiente que resulta en el vector prioritario de las alternativas.

3 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE LA UTILIZACIÓN DE LOS EXCEDENTES DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA EN EL PARAGUAY BASADO EN EL AHP

3.1 Aplicación del AHP en Planificación Energética

Los métodos de MCDA en la planificación energética se han aplicado extendidamente a la planificación de la asignación de recursos de energía. Como se expone en [1] hay varios métodos de MCDA aplicados con frecuencia, PROMETHEE (*Preference Ranking Organization method of Enrichment Evaluations)* [5], ELECTRE (*The ELlimination Et Choix Traduisant REalité*) [6], la teoría de la utilidad multi-atributo (MAUT) [7], los métodos difusos y los sistemas de soporte de decisiones (DSS) [8]. Sin embargo, se puede observar desde el estado del arte que el AHP es quizás el método más popular para dar prioridad a las alternativas. Esto puede ser debido a la capacidad de convertir un problema complejo en una jerarquía simple, con capacidad de mezclar tanto atributos cualitativos como cuantitativos en el mismo enfoque de decisión [1]. El método se ha utilizado en la planificación de energías renovables [9], la asignación de recursos de energía [10], la planificación energética de transporte, planificación de proyectos [11] y planificación de servicios eléctricos [12].

3.2 Criterios e indicadores de evaluación

Las alternativas mencionadas son evaluadas de acuerdo a los criterios económicos, técnicos, ambientales, sociales y de factibilidad. La Fig. 1 expone la jerarquía de la decisión de política energética paraguaya. A continuación se resumen estos criterios.

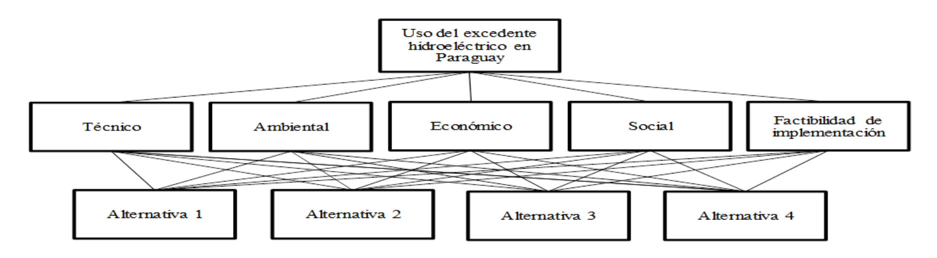


Fig. 1. Árbol jerárquico de decisiones

Criterio Técnico: el indicador de este criterio es el Costo Esperado de Energía No Suministrada (CEENS). Dentro de este análisis, la tasa de crecimiento de la demanda eléctrica se considera incierta y su evolución se replica mediante 1.000 simulaciones de Monte Carlo a través de un Movimiento Browniano (BM). En cada realización, Flujos Óptimo de Potencia (OPF) son calculados en el sistema paraguayo (SIN) para el periodo de demanda pico, con el fin de determinar el CEENS mínimo en el horizonte de análisis bajo condiciones de contingencia (N-1) de líneas de transmisión. El horizonte de análisis es 10 años.
Criterio Económico: el indicador de este criterio es la tasa media anual de crecimiento del PIB del país en el horizonte analizado. Se estima la proyección del PIB por medio de series de tiempo histórica. Cada alternativa tiene un tratamiento especial en cuanto a su contribución marginal al crecimiento del PIB.
Criterio Ambiental: el indicador de este criterio es la tasa de crecimiento promedio de la emisión de gases de efecto invernadero, que se estima por una proyección que incluye el consumo de energía como variable exógena. El análisis de series de tiempo se realiza con base en los datos históricos de las emisiones de CO_2 en Paraguay.
Criterio Social: el indicador de este criterio es el número de empleos que se generaría por cada estrategia. Se calcula mediante las proyecciones basadas en datos históricos o estudios adicionales específicos en función de la estrategia que se está analizando.
Criterio de Factibilidad: aquí establecemos una clasificación basada en el conocimiento experto de la probabilidad de una efectiva implementación de las alternativas analizadas.

4 CASO DE ESTUDIO

4.1 Resultados

En este artículo se analiza un caso de estudio que asume las estrategias de Paraguay de la siguiente manera:
Alternativa 1 **-** Escenario tendencial: Paraguay sigue cediendo su excedente de energía eléctrica a Brasil. Paraguay recibe una compensación económica (9,5 USD/MWh) por dicha cesión, es decir, la energía no es transada sino cedida.
Alternativa 2 **-** Alto nivel de exportación de energía hidroeléctrica: la energía de Paraguay se vende en el mercado mayorista de energía de Brasil a 50 USD/MWh [13].
Alternativa 3 **-** Penetración de una industria electro-intensiva: una fábrica de aluminio de 1.100 MW se instala en Paraguay en el año 2017.
Alternativa 4 **-** Alto desarrollo de las pequeñas industrias: Parques industriales de 180 MW por año se estableció en Paraguay desde el año 2017 hasta el año 2021.
En primer lugar, se estableció la importancia relativa de cada criterio de decisión. En este caso, las comparaciones por pares entre los diferentes criterios se llevan a cabo de acuerdo a la importancia en el logro de la meta final. Sobre la base de estos hallazgos se construye una matriz de comparación de criterios. En cada caso, se analiza la razón de consistencia de los juicios emitidos [4]. Cuando esta razón de consistencia nos muestra un valor mayor al 10%, nos indican que los juicios son inconsistentes, es probable que en estos casos el tomador de decisiones deba reconsiderar y modificar los valores de la matriz de comparaciones.
La evaluación comienza por determinar el peso relativo de los grupos de criterios iniciales. Para este caso de estudio, cada criterio se pondera con igualdad de importancia con relación a los otros criterios.
Con el fin de interpretar y dar peso relativo a cada criterio, es necesario normalizar la matriz de comparación. La normalización de la matriz se hace dividiendo cada valor en la matriz por el valor total de la columna del total (Tabla I).

TABLA I. PRIORIDADES COMPUESTAS DE CRITERIOS

CRITERIO	C1	C2	C3	C4	C5	VP
C1	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	0.2
C2	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	0.2
C3	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	0.2
C4	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	0.2
C5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	0.2

La contribución de cada criterio a la meta del caso de estudio se determina mediante cálculos utilizando el vector de prioridad (o vector propio, VP). El vector propio muestra el peso relativo entre cada criterio obtenido mediante el cálculo de la media aritmética de todos los criterios.

4.1.1 Criterio Técnico: resultados

El caso de estudio se replica en un modelo de 94 barras del SIN. Los parámetros de las líneas de transmisión, las unidades de generación y carga son cuidadosamente seleccionados sobre la base de datos de la Administración Nacional de Electricidad (ANDE). Además, se toman en cuenta los datos históricos de crecimiento de la carga con el fin de establecer los parámetros del proceso de BM que replica la evolución incierta temporal y geográfica de la demanda. Una representación de corriente continua de la red se considera en el modelo de OPF. El DC-OPF se calcula utilizando el paquete de simulación de sistemas de potencia basados en MATLAB Matpower 3.2 ©. En el caso de las Alternativas 1 y 2 (A1 y A2) se considera el sistema de la ANDE, donde los crecimientos de demanda con la incertidumbre siguen el proceso estocástico propuesto. Alternativa 3 (A3) considera la instalación adicional de 1.100 MW a partir del año 2017. Del mismo modo, dentro de la Alternativa 4 (A4), se considera un incremento adicional de la demanda de 180 MW por año a partir de 2017 hasta el 2021. En todos los casos, bajo escenarios de déficit de energía, el precio del VOLL (*Value of Lost Load)* en la barra con reducción de carga, se ha asumido para ser 483 USD/MWh. 1.000 simulaciones de Monte Carlo se realizan en cada escenario, año y contingencia simple de las líneas de transmisión, respectivamente, con el fin de estimar el Costo Esperado de la Energía No Suministrada (CEENS), (ver Tabla II).

4.1.2 Criterio Económico: resultados

Basado en el PIB de Paraguay [14], el consumo eléctrico [15] y las series históricas (periodo 2005-2011), una función lineal se define a fin de pronosticar la evolución temporal del PIB en función de la demanda de electricidad industrial en Paraguay. La ecuación obtenida es la siguiente:

$$PIB(t)=558+13{,}5.GWh(t) \quad (3)$$

Donde el *PIB(t)* es el PIB paraguayo en miles de millones de guaraníes en el año *t* y *GWh(t)* es el consumo de electricidad paraguaya industrial en GWh en el año *t*. Adicionalmente, se estima una regresión lineal del consumo de electricidad industrial de Paraguay sobre la base de los datos históricos.

$$GWh(t)=1.216{,}36+69{,}7.t \quad (4)$$

Por A1 se estima que la tendencia de estas variables sobre la base de estas funciones con el fin de estimar el crecimiento medio del PIB en cada alternativa. En el caso de A2, hemos añadido al PIB los ingresos generados por la venta de electricidad a un precio igual a 50 USD / MWh, considerando que Paraguay vende alrededor de 9.504 GWh por año a partir de 2017. Del mismo modo, para A3, se añade la contribución de la fundición de aluminio de la empresa al PIB paraguayo, estos valores se obtienen a partir de [16]. Por último, en el caso de A4, el crecimiento promedio del PIB se calcula añadiendo al consumo de electricidad correspondiente a la instalación de las nuevas industrias (1.037 GWh por año en una progresión aritmética). Los resultados se pueden ver en la Tabla II.

4.1.3 Criterio Ambiental: resultados

Para el escenario base, en este caso A1 y A2 se procedió a obtener la relación entre la emisión de GEI (toneladas métricas per cápita) y consumo de energía en Paraguay (todas las fuentes de energía). Por lo tanto, se obtiene la siguiente función en base a datos históricos:

$$GEI(t)= -0{,}92 + 0{,}0190.(t) + 0{,}000106.GWh(t) \quad (5)$$

Donde *GEI (t)* son los gases de efecto invernadero emitidos en Paraguay en el año *t*, y GWh*(t)* es la demanda total de energía en el año *t*. La evolución del GWh se estima con base en su tasa de crecimiento histórico.
A3 añade a la línea de base de GEI, los gases emitidos por la fábrica de aluminio, estos valores se encuentran expuestos en [15]. Por último, A4 añade al escenario base de la cantidad de GEI causado por la instalación de bloques de 180 MW. El GWh correspondiente para este escenario se estima teniendo en cuenta que la demanda eléctrica es igual a aproximadamente el 23,3% del total de energía en el Paraguay (ver Tabla II).

4.1.4 Criterio Social: resultados

La generación de empleo para la A3 se obtuvo en el informe [16]. Del mismo modo, en la A4, el número de generación de empleo se obtiene mediante una función que relaciona el número de empleos generados y el consumo de electricidad. Esta función se ajusta sobre la base de los datos de generación de empleo por industrias en Paraguay durante el período 2007-2011 y el correspondiente consumo de electricidad de este sector. La ecuación de regresión es:

$$E(t)= 45.945 + 327.GWh(t) - 21.155.t \quad (6)$$

Donde *E(t)* es el número de empleos generados en el año *t*. La Tabla II muestra los resultados obtenidos. Los empleos generados por la A2 son marginales con relación a las otras alternativas. Cabe destacar que la A1 es la línea de base con relación a la cual se miden la generación adicional de empleos.

4.1.5 Criterio Factibilidad de implementación: resultados

Este criterio mide el riesgo de una aplicación efectiva de una política energética determinada. Como es de suponer, el riesgo más bajo tiene el escenario tendencial A1, ya que este escenario se está ejecutando en el Paraguay. Luego, en el escenario de una sola gran industria A3, el riesgo es relativamente bajo debido a que la negociación se realiza con un solo agente, lo que reduce la complejidad del proceso. En virtud de la A2, Paraguay debe negociar primero con Brasil a fin de hacer posible su inclusión como agente en el mercado eléctrico mayorista brasileño, entonces es necesaria una negociación con los demás agentes del mercado con el fin de obtener un acuerdo de compra de energía en condiciones favorables. Es evidente que todo este proceso es bastante complejo. Por último, la alternativa más riesgosa es A4, ya que la implementación de esta alternativa, que implica un flujo constante de nuevas industrias que se instalen en el Paraguay durante varios años. Esto requeriría también la implementación de medidas y políticas ajenas al sector energético, como por ejemplo, exenciones fiscales para las industrias.

En dicho contexto, bajo esta política, una instalación masiva de pequeñas industrias debe ser incentivada y se requieren negociaciones con varias partes. Así, se necesitan inversiones en infraestructuras importantes en el sistema de energía de Paraguay con el fin de cumplir adecuadamente con este importante desarrollo industrial (ver Tabla II).

5 AHP RESULTADOS

Con base en los resultados presentados en la Tabla II, se utiliza el cociente entre las estimaciones de las tasas medias de crecimiento con el fin de encontrar los pesos de los indicadores ambientales y económicos. Por otra parte, en virtud de los criterios técnicos y sociales, los pesos se calculan sobre la base de las relaciones entre los valores de los ECENS y número de empleos respectivamente. Si la relación calculada es mayor de nueve, entonces el peso se fija en nueve. Del mismo modo, si el resultado es un número no entero entre uno y nueve, el peso se fija en el número entero inmediato superior. La Tabla III expone las matrices de comparación por pares y los pesos asumidos por cada uno de los criterios en cada alternativa.

TABLA II. LOS RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE CADA CRITERIO EN VIRTUD DE CADA ALTERNATIVA

Crit/Alt	A1	A2	A3	A4
C1 (MUSD)	29,47	29,47	2,81	32,27
C2 (%)	3,95	3,95	5,85	6,03
C3 (%)	3,8	4,31	4	6,8
C4 (Empleos)	0	0	6.368	152.339
C5 (Ranking)	4	2	3	1

TABLA III. VECTORES DE PRIORIDAD DE LAS ALTERNATIVAS COMPARADAS CON CADA CRITERIO

Alt/Crit	C1	C2	C3	C4	C5
A1	0,249	**0,350**	0,120	0,052	**0,434**
A2	0,222	**0,350**	0,190	0,052	0,182
A3	**0,418**	0,189	0,270	0,191	0,286
A4	0,109	0,109	**0,418**	**0,704**	0,096
RC	0,017	0,003	0,026	0,089	0,017

En este contexto, se realizan los cálculos del vector de prioridad de cada alternativa en función de cada criterio. Los resultados se presentan en la Tabla III. Se puede observar que, bajo el criterio técnico, la estrategia A3 tiene la prioridad más alta. Este hecho puede explicarse considerando que la interconexión

necesaria -red con el fin de suministrar energía eléctrica a la fundición de aluminio- ayuda a reducir la congestión en la red de transmisión y por consiguiente el CEENS. Del mismo modo, la A1 y A2 tienen las más altas prioridades en el marco del criterio ambiental; bajo estas alternativas, no existen contribuciones a las emisiones de GEI de línea de base, por lo tanto, muestran el mejor rendimiento de acuerdo a este indicador. Por otro lado, A4 presenta el mejor desempeño bajo los criterios sociales y económicos debido a que estas alternativas están alentando al crecimiento del PIB mediante la generación de empleos (ver Tabla II). Por último, A1 tiene la más alta prioridad en los criterios de factibilidad. Se puede observar en la Tabla III, que ninguno de los criterios tiene una razón de consistencia por encima del umbral de 10%.
Basándose en estos resultados, el vector de prioridad compuesto es estimado (Tabla IV) y A4 presenta la prioridad más alta. Por lo tanto, la mejor alternativa para Paraguay -bajo la hipótesis asumida- es utilizar el excedente de energía hidroeléctrica para promover un desarrollo de las pequeñas industrias, lo que generará más demanda de trabajo y al mismo tiempo, un gran movimiento dentro de la economía local.

TABLA IV. VECTOR DE PRIORIDAD COMPUESTO

Alternativas	A1	A2	A3	**A4**
Prioridades	0,241	0,199	0,271	**0,287**

6 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Este análisis se realiza para examinar el grado de sensibilidad del resultado obtenido en una decisión al realizar cambios en las prioridades de un determinado criterio manteniendo las proporciones de las prioridades de los otros criterios, de manera que todos ellos, incluido el criterio alterado, al modificarse sigan sumando la unidad. En la Tabla V, como ejemplo, damos una valoración mayor al criterio de factibilidad y vemos como varía el resultado final. Realizando el mismo procedimiento, con la variante de dar mayor peso a uno o dos criterios, en este caso, *p.e.* dando mayor peso a los criterios técnico y ambiental, podemos observar que la mejor alternativa pasa a ser A3, (ver Tabla VI). Los elementos de la diagonal representan la priorización de un solo criterio. Asimismo, a través de la Tabla VI vemos como van variando las alternativas de acuerdo a las combinaciones que se efectúan. Por ejemplo, priorizando los criterios técnico y económico vemos como la mejor alternativa sigue siendo la A3, de la misma manera, otorgando mayor peso a los criterios técnico y social la mejor alternativa pasa a ser la A4, y variando los criterios técnico y de factibilidad, la estrategia A1 pasa a ser la mejor, así como se muestran en la Tabla VI.

TABLA V. PRIORIDADES COMPUESTAS DE ALTERNATIVAS

Criterios	Técnico	Ambiental	Económico	Social	Factibilidad
Técnico	1	1	1	1	1/3
Ambiental	1	1	1	1	1/3
Económico	1	1	1	1	1/3
Social	1	1	1	1	1/3
Factibilidad	3	3	3	3	1

TABLA VI. VECTOR DE PRIORIDAD VARIANDO PRIORIZANDO EL PESO DE HASTAS DOS CRITERIOS

Criterios	Técnico	Ambiental	Económico	Social	Factibilidad
Técnico	A3	A3	A3	A4	A3
Ambiental	A3	A1	A4	A4	A1
Económico	A3	A4	A4	A4	A3
Social	A4	A4	A4	A4	A4
Factibilidad	A1	A1	A3	A4	A1

7 CONCLUSIONES

Bajo la situación en la que un país se enfrenta a la hora de la elección de la mejor asignación de su disponibilidad de la energía eléctrica, la decisión puede ser a menudo muy compleja, debido a que las estrategias pueden tener un rendimiento diferente de acuerdo con diferentes criterios.
En este trabajo se ha presentado al AHP como una evaluación de análisis de decisión aplicada en este

problema. Hemos propuesto un modelo integral AHP para seleccionar la mejor alternativa para promover la gestión de los excedentes de energía hidroeléctrica en el país. El modelo AHP es un marco de toma de decisiones mediante una relación jerárquica entre los criterios y niveles de alternativas. Es capaz de manejar múltiples criterios y nos permite incorporar criterios tanto cualitativos como cuantitativos, en la evaluación de los subsectores. Por lo tanto, cuando somos ayudados por los enfoques de toma de decisiones en las aplicaciones reales del método utilizado, como el AHP, utilizamos una herramienta para mejorar el valor y la claridad del proceso de decisión de los tomadores de decisiones. En este contexto, en el presente trabajo se ha propuesto un nuevo enfoque basado en la metodología AHP para el análisis de las estrategias de eficiencia energética del Paraguay en la utilización de la energía hidroeléctrica, donde los criterios se clasifican en; económico, técnico, social, ambiental y factibilidad de implementación. Asimismo, como caso de estudio, cuatro políticas energéticas son evaluadas, es decir un escenario tendencial (A1), un escenario de alto nivel de exportación de energía hidroeléctrica (A2), un escenario de alta penetración de la industria electro - intensiva (A3), y por último, el escenario de alto desarrollo de las pequeñas industrias (A4). Los resultados muestran que la mejor alternativa es A4 (28,7 %) bajo la hipótesis asumida de una igualdad de importancia entre los criterios. Bajo estas premisas, la estrategia más adecuada para el uso de sus excedentes hidroeléctricos del Paraguay es el desarrollo de su sector industrial a través del uso de la energía eléctrica disponible, lo que traería grandes beneficios en múltiples aspectos en comparación con otras alternativas.

8 REFERENCIAS

[1] S. Pohekar and M. Ramachandran, "Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning—a review", Renewable and Sustainable Energy Reviews, pp. 365-381, 2004.

[2] T. Saaty, *How to make a decision: the analytic hierarchy process*, 1994.

[3] G. De Las Nieves, "Técnicas participativas para la planeación de procesos Breves de intervención", Fundación ICA, AC, pp. 167-182, 2003.

[4] R. Vargas and PMP IPMA, "Using the analytic hierarchy process to select and prioritize projects in a portfolio", PMI global congress. 2010, pp. 1-22.

[5] M. Goumas and V. Lygerou, "An extension of the PROMETHEE method for decision making in fuzzy environment: Ranking of alternative energy exploitation projects", European Journal of Operational Research, pp. 606-613, 2000.

[6] M. Beccali, M. Cellura and M. Mistretta, "Decision-making in energy planning. Application of the Electre method at regional level for the diffusion of renewable energy technology", pp. 2063-2087, 2003.

[7] N. Voropai and E. Ivanova, "Multi-criteria decision analysis techniques in electric power system expansion planning", International journal of electrical power & energy systems, pp. 71-78, 2002.

[8] G. Skikos and A. Machias, "Fuzzy multi-criteria decision making for the evaluation of wind sites wind Engineering", pp. 213-228, 1992.

[9] R. Ramanathan and L. Ganesh, "Energy resource allocation incorporating qualitative and quantitative criteria: an integrated model using goal programming and AHP. Socio-Economic Planning Sciences", pp. 197-218, 1995.

[10] B. Hobbs and G. Horn, "Building public confidence in energy planning: a multi-method MCDM approach to demand side planning at BC gas", Energy Policy, pp. 357-375, 1997.

[11] S. Yedla and R. Shreshtha, "Multicriteria approach for selection of alternative option for environmentally sustainable transport system in Delhi", Transportation Research, pp. 717-729, 2003.

[12] S. Rahman and L. Frair, "A hierarchical approach to electric utility planning. International Journal of Energy Research", pp. 185-196, 1984.

[13] Cámara de Comercialización de Energía Eléctrica del Brasil. Resultado consolidado de las subastas correspondientes al mes de noviembre del año 2013 (Leiloes 11/2013). Disponible en: http://www.ccee.org.br/ccee/documentos/CCEE_154752.

[14] Banco Central del Paraguay. Incorporación de las Binacionales a las Cuentas Nacionales y a la Balanza de Pagos de Paraguay. 2011. Disponible en: http://tinyurl.com/qa7wq69.

[15] Dirección de Recursos Energéticos, Vice Ministerio de Minas y Energía Paraguay (2005 - 2010) Balance Energético Nacional. Disponible en: http://tinyurl.com/mj3ecjr.

[16] CRU Srategies. Energía y aluminio en Paraguay. 2011. Informe final preparado para Itaipu Binacional.